



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# METSÄTYÖKONEEN VOITELUSUUNNITELMA

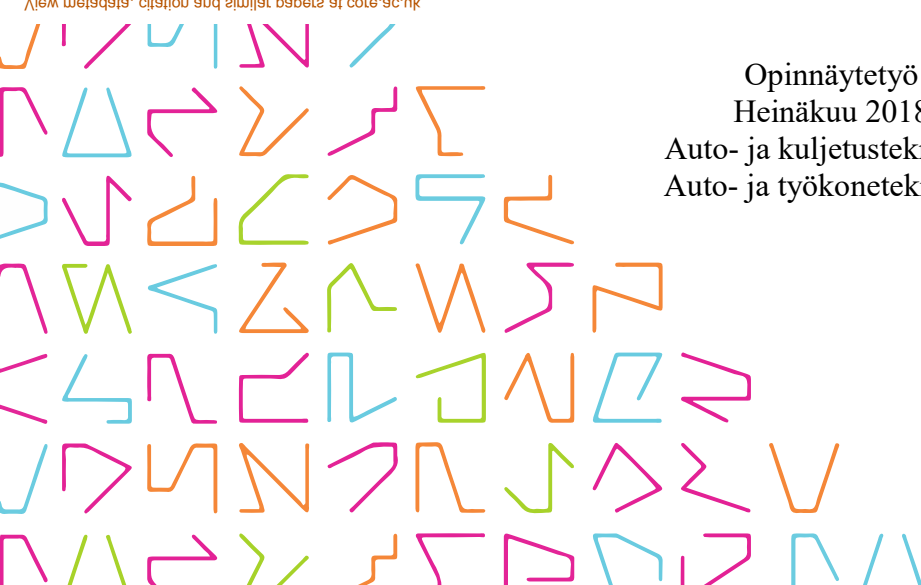
Jukka Nurminen



View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk

provided by CORE

Opinnäytetyö  
Heinäkuu 2018  
Auto- ja kuljetustekniikka  
Auto- ja työkonetekniikka



# TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Auto- ja kuljetustekniikka  
Auto- ja työkonetekniikka

NURMINEN JUKKA  
Metsätyökoneen voitelusuunnitelma

Opinnäytetyö 26 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Heinäkuu 2018

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin John Deere Forestry Oy:lle, maailman suurimmalle metsätyökoneiden valmistajalle. Opinnäytetyö syntyi tarpeesta määrittää voiteluaineen tarve metsätyökoneen laakereille. Tässä työssä on perehdytty tribologiaan eli kitkan, kulumisen ja voitelun teoriaan ja tutkittu eri kulumisprosesseja ja voitelumekanismeja. Voitelutarpeen määrittämisessä on perehdytty asiantuntijoiden ohjeistuksiin ja materiaaliin. Tavoitteena oli muodostaa teoreettinen malli, jonka mukaan erityyppisten laakereiden voiteluaineen tarvetta voidaan mitoittaa. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin rasvan käyttöön voiteluaineena, jonka lainalaisuudet eivät ole samat kuin öljyllä.

Työn tuloksena saatiin voiteluaineen määrät eri laakerityypeille. Nykyisen rasvausjärjestelmän syöttämät voiteluainemäärät olivat tapauskohtaisesti joko yli tai alle teoreettisten tulosten. Koneen rungon ja hytin tapauksessa, jossa käytetään suureksi osaksi nivellaakereita, voiteluainetta syötettiin usein yli laakerin tarvitseman määrän. Koneen puomin tapauksessa liukulaakerit eivät saaneet tarpeeksi voiteluainetta. Silmämääräisen arvion mukaan laakereiden liiallinen rasvoittuminen on ongelma samoissa kohteissa, joihin laskentatulokset viittaavat.

Laakereiden kulumisen aiheutuu liukupinnoilla voitelun puutteesta johtuvasta pintojen hankauksesta tai ulkoisesta liasta. Vierintälaakereilla suurin ongelma on vierintäpintojen väsyminen. Työkoneiden nivelien voitelumekanismit keskittyvät rajavoitelun alueelle, kun liike pintojen välillä ei ole tasaista. Vierintälaakereilla voitelu on elastohydrodynaamista pienen kosketuspinta-alan ja verrattain suurten voimien vuoksi. Rasvalle tarkoitetut ohjeistukset voiteluaineen määrästä ovat suppeampia öljyvoiteluun verrattuna. Rasvan ominaisuuksien takia voiteluaineen kulutuksen laskentaan vaadittiin omat laskentakaa- vat, jotka ovat suuntaa-antavia. Työn tuloksiin voidaan olla tyytyväisiä ja ne antavat läh- tökohdat voitelujärjestelmän kehittämiseksi. Tässä opinnäytetyössä on luottamuksellista materiaalia, joka on poistettu julkisesta raportista.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Automobile and Transport Engineering  
Industrial Vehicle Engineering

NURMINEN JUKKA

Lubrication Plan for Forestry Harvester

Bachelor's thesis 26 pages, appendices 3 pages  
May 2018

---

This bachelor's thesis was conducted for John Deere Forestry Oy. The purpose of this thesis was to gather information about wear and lubrication and determine correct lubrication flow for different types of bearings. Wear and lubrication are studied using literature from the field of tribology. Instructions from manufacturers and experts were used while determining the proper lubricant flow for the bearings. The goal was to produce a guide that can be used for grease lubricated bearings.

The thesis contains results for the proper lubrication supply of different types of bearings. The calculations show that the articulating bearings of the frame and cab were oversupplied, while the thrust bearings of the boom were undersupplied. The calculations are supported by visual examination, which indicate excess grease as the life of the machine progresses.

Wear for the thrust bearings is usually the cause of poor lubrication or outside debris. Wear of the rolling bearings is due to the fatigue of the materials. Lubrication of joints in heavy machinery is concentrated in the region of boundary lubrication because of the alternating motions. The rolling bearings operate in the elastohydrodynamic region due to the small contact surfaces and high loads. This thesis contains confidential material, which is removed from the public report.

---

Key words: tribology, wear, lubrication, grease, industrial vehicle

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KULUMINEN.....	6
2.1	Kulumisen määrittely.....	6
2.2	Adhesiivinen kuluminen.....	7
2.3	Abrasiivinen kuluminen.....	7
2.4	Pinnan väsyminen.....	7
3	VOITELU.....	9
3.1	Voitelumekanismit.....	9
3.2	Hydrodynaaminen voitelu.....	10
3.3	Hydrostaattinen voitelu.....	11
3.4	Elastohydrodynaaminen voitelu.....	11
3.5	Rajavoitelu.....	11
4	LAAKEROINTI JA VOITELUTARVE.....	13
4.1	Vierintälaakerit.....	13
4.2	Vierintälaakerin voitelutarve.....	14
4.3	Liukulaakerit.....	15
4.4	Liukulaakerin voitelutarve.....	16
5	JOHN DEERE 1270G RASVAUSJÄRJESTELMÄ.....	17
6	TULOKSET.....	19
7	POHDINTA.....	21
	LÄHTEET.....	23
	LIITTEET.....	24
	Liite 1. Lincoln automaattirasvausjärjestelmä.....	24
	Liite 2. Laakereiden käyttömäärä ja liikk.....	25
	Liite 3. Voiteluaineen kulutus laakerityypeittäin.....	26

## 1 JOHDANTO

Suurissa työkoneissa, kuten harvestereissa on suuri määrä niveliä ja laakereita, jotka tarvitsevat voitelua toimiakseen. Tätä tarkoitusta varten työkoneissa käytetään keskusrasvausjärjestelmiä, jotka huolehtivat voiteluaineen syötöstä automaattisesti kunnossapidon helpottamiseksi. Harvesterin nivelissä tapahtuvat nopeat liikkeet ja suuret voimat vaativat ehdottoman toimivan järjestelmän ja riittävät voiteluainemäärät. Riittävän voitelun määrittäminen eri kohteille ennaltaehkäisee työkoneen korjaustarpeita ja tehostaan asiakkaan työntekoa.

Työn tilaajan John Deere Forestry Oy:n työkoneissa on käytössä rasvausjärjestelmä, jonka avulla voitelukohteita voidellaan automaattisesti. Voiteluaineen kulutusta ei ole kuitenkaan määritetty laskennallisesti, vaan voitelussa on luotettu kokemuspohjaisesti hyväksi todettuihin käytäntöihin. Järjestelmän toimivuutta on mahdollista parantaa tutkimalla eri voitelukohteiden ominaisia piirteitä ja määrittämällä niille laskennallinen voiteluaineen tarve. Opinnäytetyössä tutkittavana kohteena on John Deere 1270G-mallin harvesteri ja sen CH7-harvesterinosturi. Harvesteri ja sen nosturi sisältävät niveliä, joiden eri ominaisuudet ja käyttötarkoitukset vaativat omanlaisensa voitelun.

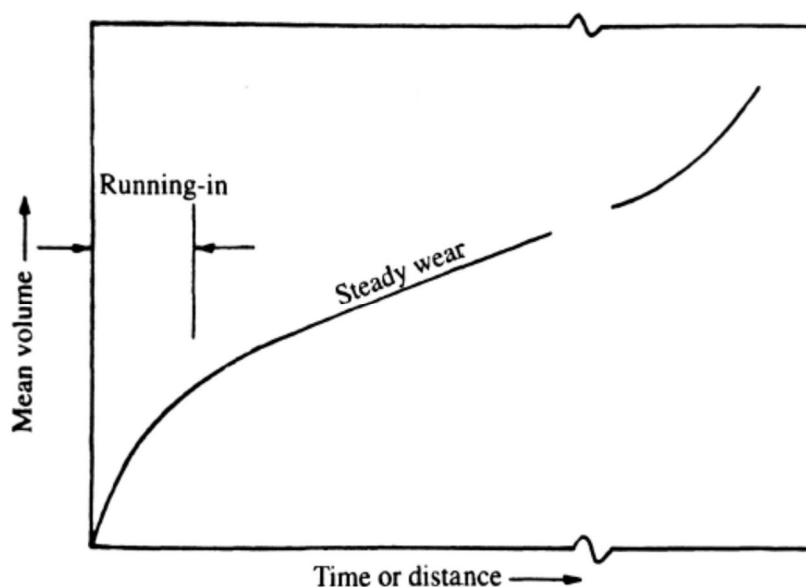
Työssä tutkitaan kulumisen syntyä ja voitelumekanismeja sekä kuvataan laakereiden voiteluaineen tarve, kun voiteluaineena on rasva. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on saada aikaan ohjeistus, jota voidaan tulevaisuudessa käyttää keskusrasvausjärjestelmän suunnittelussa. Kulumista ja voitelua on kuvattu omaan tieteenhaaraan, eli tribologiaan tukeutuen ja sopivan voitelun määrittämiseen on käytetty laakerivalmistajien ja alan asiantuntijoiden materiaalia.

## 2 KULUMINEN

### 2.1 Kuluminen määrittely

Kulumisella tarkoitetaan toisiaan vastaan liikkuvien pintojen keskinäisestä vuorovaikutuksesta johtuvaa materiaalihäviötä kappaleiden pinnalta. Kulumistapahtuma koostuu useista parametreista, joiden yhtäaikainen hallinta on vaikeaa. Kulumispartikkeleiden synty ja kulumisen selittäminen ovat usein pelkästään käytännön kokemuksen varassa. Materiaalihäviö kappaleiden pinnoilta tapahtuu joillakin neljästä eri tavasta: adhesiivisesti, abrasiivisesti, väsymällä tai tribokemiallisen reaktion kautta. Käytännössä kulumien tapahtuu yleensä useammalla eri tavalla yhtä aikaa. (Kivioja, Kivivuori, Salonen 2007, 97-104)

Koneenosien kulumista ei voida pitää vakiona koneen eliniän aikana (kuva 1). Liikkuvat pinnat käyvät läpi niin sanotun sisäänajon, jonka aikana kuluminen on huomattavaa. Sisäänajon aikana liikkuvat pinnat muokkautuvat yhdenmukaisiksi ja suurempien pinnan- karheuksien tasoittuessa kitka pienenee. Sisäänajon jälkeen liikkuvat pinnat saavuttavat vähäisen ja tasaisen kulumisen alueen, jonka on tarkoitus kestää koneen tai koneenosan suunniteltu elinikä. Tämän jälkeen kulumisnopeus nousee jälleen, kun liukuvien pintojen väsyminen alkaa aiheuttaa materiaalihäviötä. (Williams 2005, 176)



KUVA 1. Komponenttien tyypillinen kulumisprosessi (Williams 2005, 177)

## 2.2 Adhesiivinen kuluminen

Kahden vastakkaisen pinnan ollessa kuorman alaisena pinnankarheuksien huipuilla on tapana liimautua toisiinsa materiaalien vuorovaikutusten johdosta. Pintojen liukuessa liimautuneet kohdat murtuvat alkuperäisestä liitäntäkohdasta, jolloin vahinkoa ei tapahdu. Liimautuminen voi olla myös niin vahva, että murtuminen tapahtuu syvemmällä materiaalissa, jolloin materiaalia siirtyy pinnalta toiselle. Tämä aiheuttaa pinnan kuoppautumista ja kulumista. Adheesiosta voi seurata myös irtonaisia kappaleita, jotka naarmuttavat ja kuluttavat molempia pintoja. (Norton 2011, 454-455)

## 2.3 Abrasiivinen kuluminen

Laakerin ja akselin materiaalit eroavat yleisesti niin, että laakerin materiaali on pehmeämpää kuin akselin. Tällaisessa tilanteessa, jota kutsutaan kahden kappaleen kulumiseksi, kovempi materiaali mekaanisesti kuluttaa pehmeämpää materiaalia leikkaamalla tai kyn-tämällä. Kuluminen voi aiheutua myös irrallisista partikkeleista, jolloin puhutaan kolmen kappaleen kulumisesta. Tällöin partikkelit jotka ovat vähintään kovempia kuin toinen pinta, leikkaavat tai kyntävät liukupintaa. Abrasiivinen kuluminen kehittyy usein kahden kappaleen kulumisesta kolmen kappaleen kulumiseksi, kun pinnoilta irronneet partikkelit muokkauslujittumisen ansiosta kovettuvat, ja alkavat kuluttaa pintoja. (Williams 2005, 178-179; Kivioja ym. 2007, 108-109)

## 2.4 Pinnan väsyminen

Vierintälaakereiden adhesiivinen ja abrasiivinen kuluminen on hyvin vähäistä, koska normaaleissa toiminta olosuhteissa liike on lähes täysin vierivää ja liukuminen on alle 1% kokonaisliikkeestä. Vierintälaakereissa suuria kuormia välitetään verrattain pienen pinta-alan välityksellä, joka aiheuttaa poikkeamia materiaaleissa. Kuormitus aiheuttaa jatkuvaa elastista muodonmuutosta, joka johtaa pinnan väsymiseen ja lopulta materiaalin pettä-miseen. Väsymisvauriot jaetaan kahteen eri ryhmään, pinnalle syntyviin väsymisvaurioihin ja pinnan alle syntyviin vaurioihin. Materiaalin väsyminen voi alkaa pinnan alta, johon

kosketuspaine aiheuttaa suurimman leikkausjännityksen. Pinnalle syntyvät vauriot syntyvät voitelun pettäessä. (Kivioja ym. 2007, 244; Norton 2011, 465)



### 3 VOITELU

#### 3.1 Voitelumekanismit

Voitelukalvo on tehokkain tapa vähentää toistensa suhteen liikkuvien osien kitkaa ja kulumista. Voiteluaineena käytetään yleisemmin öljyä tai rasvaa, mutta voiteluaineena voi toimia mikä tahansa helposti leikkautuva materiaali kiinteässä, kaasumaisessa tai nestemäisessä muodossa. Tehokas ja oikeaoppinen voitelu on edellytys konejärjestelmien hyvälle käyttövarmuudelle. (Kunnossapitoyhdistys ry 2006, 12.)

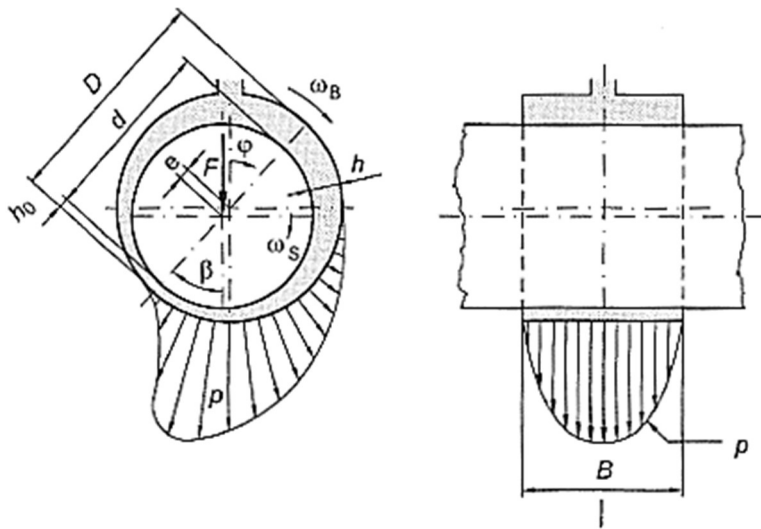
Voitelun tärkeimpiä tehtäviä ovat

- erottaa pinnat toisistaan
- pienentää kitkaa ja siitä aiheutuvaa tehohäviötä
- vähentää kulumista
- kuljettaa lämpöä pois kappaleesta
- estää epäpuhtauksien tulo voideltavaan kappaleeseen
- kuljettaa epäpuhtaudet ja kulumishiukkaset pois
- vaimentaa värähtelyjä
- suojata korroosiolta.

Voitelumekanismit voidaan jakaa kolmeen pääryhmään. Nestevoitelutilanne on paras tilanne kitkan ja kulumisen kannalta, koska liikkuvat osat erotetaan kokonaan voiteluainekalvolla. Pintojen välinen nopeusero tasoittuu voiteluaineessa ja voiteluainekalvo kantaa kuorman täysin. Jos nestevoitelu ei ole mahdollista, puhutaan kosketusvoitelusta. Tällöin kuorma välittyy pintojen kosketuksen kautta. Käytännön voitelutilanteissa kosketus tapahtuu osin voiteluaineen kautta ja osin pintojen kosketuksen kautta. Tätä tilannetta kutsutaan sekavoiteluksi. Eri voitelutilanteet voidaan jakaa tämän lisäksi tarkempiin alaryhmiin, joita ovat hydrodynaaminen-, hydrostaattinen-, elastohydrodynaaminen- ja raja-voitelutilanne. (Kivioja ym. 2007, 129)

### 3.2 Hydrodynaaminen voitelu

Hydrodynaamisessa voitelussa voiteluainekalvo kantaa kuorman ja pitää pinnat erillään pintojen suhteellisen liikkeen avulla syntyvän hydrodynaamisen paineen ansiosta. Paine muodostuu joko niin, että voiteluaine ajautuu kiilamaisen rakoon, jonka rajapinnat liikkuvat toisiinsa nähden tangentiaalisesti tai siten, että pinnat lähestyvät toisiaan, jolloin neste pusertuu ulos kosketuskohdasta. Kuvassa 2 nähdään paineen jakautuminen säteislaakerissa, jossa akselin epäkeskeisyys ja pyörimisliike aiheuttavat kuormaa kantavan paineen. (Kivioja ym. 2007, 131.)



KUVA 2. Paineen jakautuminen säteislaakerissa (Kivioja ym. 2007)

Liukuvien pintojen täydellinen irtaantuminen hydrodynaamisessa voitelutilanteessa mahdollistaa laakeroinnin toimimisen ilman kulumista. Mikä tahansa neste tai kaasu toimii voiteluaineena, kunhan se on kemiallisesti yhteensopiva laakerimateriaalin kanssa. Liukupintojen on liikuttava suhteessa toisiinsa riittävällä nopeudella, jotta kuormaa kantava voiteluainekalvo voi syntyä. Laakereiden kulumista aiheuttaa liikkeen alku ja lopetus, jossa kalvon muodostumiseen tarvittavaa liikenopeutta ei ole. (Stachowiak & Bachelor 2005, 200.)

### 3.3 Hydrostaattinen voitelu

Hydrostaattinen voitelu perustuu samoihin periaatteisiin kuin hydrodynaaminen voitelu, mutta pitää sisällään tiettyjä olennaisia eroja. Hydrostaattisessa voitelussa voiteluaine paineistetaan erillisen pumpun avulla. Voiteluaineen hydrostaattinen paine erottaa tällöin liukupinnat toisistaan, vaikka suhteellista liikettä ei tapahdukaan. Hydrostaattinen voitelu pitää liukupinnat täysin erillään toisistaan, jolloin kulumista ei normaalioloissa tapahdu ja voiteluaine kantaa siihen kohdistuvan kuorman. Voiteluaineena käytetään yleensä öljyä tai kaasua, jotka tarjoavat tarpeeksi alhaisen viskositeetin pumpattavuuden mahdollistamiseksi. (Stachowiak & Bachelor 2005, 261.)

### 3.4 Elastohydrodynaaminen voitelu

Elastohydrodynaamisen voitelun sovellusalue käsittää kohteet, jossa suuria kuormituksia välitetään pienen kosketuspinta-alan kautta, kuten hammaspyörissä ja vierintälaakereissa. Korkeat kosketuspaineet aiheuttavat elastista muodonmuutosta samalla, kun voiteluaineen viskositeetti kasvaa voimakkaasti pintapaineen vaikutuksesta. Nämä kaksi asiaa vaikuttavat siihen, että voiteluainekalvo säilyy ehjänä tilanteissa, jossa kosketuspaineet voivat olla luokkaa 0,5–3 GPa ja voiteluainekalvon paksuus vain 0,1–2  $\mu\text{m}$ . Elastohydrodynaaminen voitelutilanne esiintyy useimmiten viivamaisissa ja pistemäisissä kosketuksissa, kun voima on suuri. (Kunnossapitoyhdistys ry 2006, 25.)

Voitelukalvon säilyminen pienellä kosketusalueella ja suuren kuorman alaisena on suurelta osin voiteluaineen kohonneen viskositeetin ansiota. Suuren paineen alaisena voiteluaine muuttuu nestemäisestä lähemmäksi kiinteää olomuotoa, jolloin aineen viskositeetti voi kasvaa  $10^6$ -kertaiseksi alkuperäisestä arvosta. (Stachowiak & Bachelor 2005, 313.)

### 3.5 Rajavoitelu

Rajavoitelutilanteessa pintoja voitelevien kalvojen paksuus on yleensä hyvin pieni verrattuna pintojen karheuteen ja suurimman osan kuormasta kantavat pinnankarheuden huiput. Liukupinnoille muodostuu hyvin ohut voiteluainekerros, joka estää pintojen koske-

tusten tahmautumisen. Tässä tilanteessa kuluminen on huomattavasti vähäisempää verrattuna voitelemattomaan tilanteeseen. Kitkakerroin jää myös hyvin pieneksi, koska voiteluainekalvon leikkausmyötölujuus on yleensä huomattavasti pienempi kuin perusmateriaalien lujuus. Rajavoitelussa voiteluaineelta vaaditaan hyvää tarttuvuutta liukupintoihin. Kosketuksen tribologiset ominaisuudet riippuvat materiaalien fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista. Voitelukalvon muodostumismekanismi voi olla fysikaalinen, kemiallinen adsorptio tai kemiallinen reaktio. (Kivioja ym. 2007, 167; Airila ym. 2010, 436.)

Fysikaalinen adsorptiossa voiteluaineen molekyylit kiinnittyvät liukupintoihin van der Waals-voimilla. Molekyylien kiinnittyminen on heikkoa ja ne irtoavat ja uudelleenkiinnittyvät liikkeen aikana. Tällainen kalvo soveltuu pienille kuormille ja pienille liukunopeuksille, koska kalvon muodostuminen on hyvin herkkä lämpötilan nousulle. (Airila ym. 2010, 436.)

Kemiallisen adsorption avulla syntyneestä kalvosta tyypillinen esimerkki on steariinihapon ja rautaoksidin välinen yhteys, jolloin pintaan syntyy rautasteariittia. Adsorption avulla syntynyt pinta kestää suurempaa kuormaa ja liukunopeutta kuin fysikaalisella adsorption avulla syntynyt pinta. Kalvon irtaantuessa laakeripinnasta uutta kiinnittymistä ei tapahdu, toisin kuin fysikaalisen adsorption tapauksessa. (Airila ym. 2010, 436.)

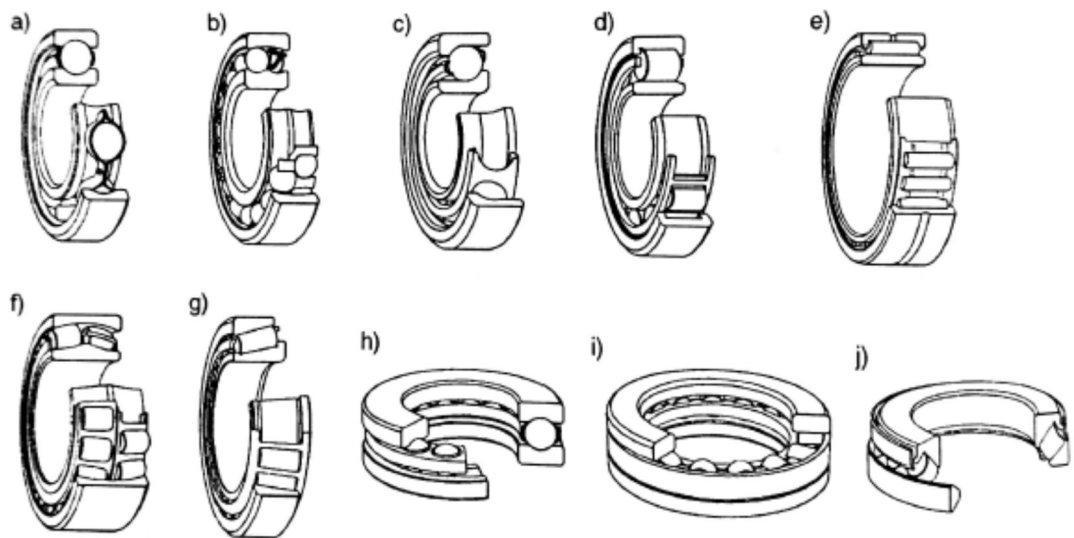
Voiteluainekalvo voi syntyä myös kemiallisen reaktion avulla, jolloin kalvonpaksuus voi muodostua useamman molekyylikerroksen paksuiseksi. Kemiallisella reaktiolla syntynyt voitelukalvo muodostuu tavallisesti lämpötila-alueella 150–180 °C. Kemiallinen reaktio yleensä vain kiihtyy kuorman ja liukunopeuden kasvaessa, jolloin kosketuskohtien lämpötila pääsee kasvamaan. Tällaiset voiteluainekalvot ovat hyvin stabiileja. Kemialliseen reaktioon perustuvaa kalvonmuodostusta käytetään yleisesti vaihteisto- ja hypoidiöljyissä. Kemialliseen reaktioon perustuvat monet lisäaineet, kuten kulumisenesto- ja extreme pressure lisäaineet. (Kivioja ym. 2007, 168–169.)

## 4 LAAKEROINTI JA VOITELUTARVE

### 4.1 Vierintälaakerit

Vierintälaakerit koostuvat vierintäradat sisältävistä laakerirenkaista, joiden välissä kiertävät vierintäelimet, jotka voivat olla kuulia tai erilaisia rullia. Laakerin vierintäelimiä ohjaa pidin, jonka tehtävänä on pitää vierintäelimien välimatka tasaisena. Vierintäelimien ansiosta kitkakerroin sekä voitelun tarve on hyvin pieni. Vierintälaakerit kategorisoidaan niiden tarkemman tyypin ja käyttötarkoituksen mukaan. (Schaeffler 2017)

Vierintälaakerit voidaan jakaa kahteen eri pääkategoriaan: kuulalaakereihin ja rullalaakereihin. Kuulalaakerit jaetaan edelleen laakerirenkaiden muodon mukaan urakuulalaakereihin ja viistokuulalaakereihin. Rullalaakerit jakautuvat rullan muodon mukaan sylinteri-, neula-, kartio- ja pallomaisiin rullalaakereihin. Yleisimmät laakerityypit on esitetty kuvassa 3. (NTN Corporation 2009, A-5)



KUVA 3. Tavanomaisia laakerimalleja. (Kivioja ym. 2007, 236)

## 4.2 Vierintälaakerin voitelutarve

Rullalaakereissa rullan ja vierintäradan kosketus on viivamainen ja kuulalaakereissa kosketus on elliptinen pistekosketus. Rullalaakereiden viivakosketus pystyy kantamaan suurempia kuormia kuin kuulalaakereiden pistekosketus. Suuresta pintapaineesta johtuen voitelu tapahtuu raja- tai elastohydrodynaamisen voitelun alueella. Voitelualue riippuu voiteluaineen viskositeetista ja laakerin pyörimisnopeudesta. Vierintälaakerin vaatima voiteluainemäärä lasketaan laakeriin lisättävän rasvamäärän (kaava 1) ja uudelleenrasvaukseen kuluvan ajan (kaava 2) osamääränä.

$$Q_a = D \cdot B \cdot 0,004, \quad (1)$$

jossa rasvan määrä  $Q_a$  (g) lasketaan laakerin ulkohalkaisijan  $D$  (mm) ja laakerin leveyden  $B$  (mm) avulla. Tämä luku jaetaan uudelleenrasvaukseen kuluvan ajan kanssa. (Johnson, M. 2009, 23)

$$t_f = K \cdot \left[ \left( \frac{14 \cdot 10^6}{n \cdot \sqrt{d}} \right) - 4 \cdot d \right], \quad (2)$$

jossa  $t_f$  on uudelleenrasvaukseen kuluva aika (h),  $K$  on ympäristötekijöiden kerroin,  $n$  on pyörimisnopeus (1/min) ja  $d$  on laakerin sisähalkaisija (mm). Ympäristötekijöiden kerroin  $K$  muodostuu useasta eri tekijästä (taulukko 1). Näiden tekijöiden laskettu tulo muodostaa laskussa käytetyn kertoimen. (Johnson, M. 2009, 23)

TAULUKKO 1. Ympäristötekijöiden kerroin (Johnson, M. 2009, 24)

<b>Lämpötila:</b>	<b>Kerroin:</b>	<b>Värähtely:</b>	<b>Kerroin:</b>
Alle 65°C	1	Alle 50 mm/s	1
65°C - 80°C	0,5	50 - 100 mm/s	0,6
80°C - 95°C	0,2	Yli 100 mm/s	0,3
Yli 95°C	0,1		
<b>Likaisuus:</b>	<b>Kerroin:</b>	<b>Asema:</b>	<b>Kerroin:</b>
Kevyt, ei hiova pöly	1	Laakerin keskireikä vaakasuorassa	1
Runsas, ei hiova pöly	0,7	Laakerin keskireikä 45° kulmassa	0,5
Kevyt, hiova pöly	0,4	Laakerin keskireikä pystysuorassa	0,3
Runsas, hiova pöly	0,2		
<b>Kosteus:</b>	<b>Kerroin:</b>	<b>Laakerin malli:</b>	<b>Kerroin:</b>
Alle 80%	1	Urakuulalaakeri	10
80% - 90%	0,7	Neula- tai rullalaakeri	5
Ajoittaista veden tiivistymistä	0,4	Kartiorullalaakeri	1
Ajoittainen altistuminen vedelle	0,1		

### 4.3 Liukulaakerit

Liukulaakeroinnissa liikkuvan osan kuten akselin, tapin tai olakkeen pinta liukuu paikallaan pysyvän laakerin liukupinnalla. Oikeanlaisella laakerivälyksellä taataan liukuparien liikkuminen sekä voiteluaineen oikeanlainen toiminta. Kahden pinnan välisen liukuvan liikkeen takia voitelun merkitys kulumisen estämisessä on tärkeä. Voiteluaine tuodaan liukupinnoille ulkopuolelta erillisellä järjestelmällä tai voitelu varmistetaan laakerimateriaalin valinnalla. Laakerityyppejä ovat aksiaalilaakerit, säteislaakerit, liuskat sekä moniosaiset rakenteet. Liukulaakerit soveltuvat kantamaan suuria kuormia suhteellisen hitaissa pyörimis- ja kääntöliikkeissä, ja niiden tilantarve on vierintälaakerointia vähäisempi. (Schaeffler 2017)

#### 4.4 Liukulaakerin voitelutarve

Liukulaakerin voitelussa pyritään hydrodynaamiseen voiteluun, jossa voiteluaine erottaa pinnat toisistaan ja kantaa kuorman. Tilanteissa, jossa liukupintojen liike ei ole tasaista ja suunnanmuutoksia tapahtuu, puhutaan rajavoitelusta. Liukulaakerin tarvitsema voiteluainemäärä lasketaan laakerin mittojen ja pyörintänopeuden perusteella (kaava 3)

$$Q = k_g \cdot C_d \cdot \pi \cdot d \cdot B, \quad (3)$$

jossa  $Q$  on voiteluainemäärä (g/h),  $k_g$  on pyörimisnopeuden kerroin,  $C_d$  on akselin ja laakerin vällys (mm),  $d$  on laakerin sisähalkaisija (mm) ja  $B$  on laakerin leveys (mm). Taulukossa 2 on esitetty pyörimisnopeuden kerroin  $k_g$ , joka antaa kertoimen tietylle pyörimisnopeuden vaihteluvälille. (Lingaiah, K. 2001, 23.34)

TAULUKKO 2. Pyörimisnopeuden kerroin (Lingaiah, K. 2001, 23.34)

Pyörimisnopeus 1/min	$k_g$
Alle 100	0,1
100 – 250	0,2
250 – 500	0,4
500 – 1000	1

Useimpien työkoneessa tavattujen nivelien liike ei ole pyörivää ja jos kyseessä on heilahdusliike, voidaan se muuttaa keskimääräiseksi pyörimisnopeudeksi kaavalla 4

$$n_h = \frac{4 \cdot \theta \cdot C}{360^\circ}, \quad (4)$$

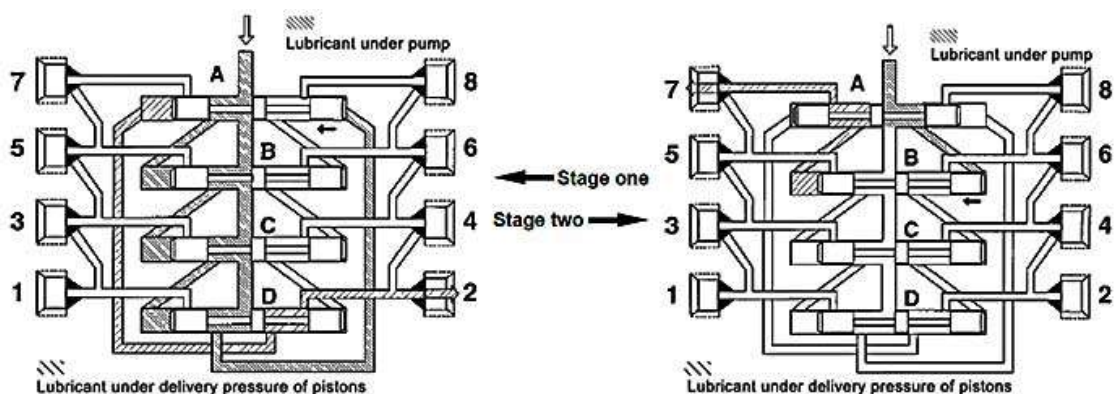
jossa  $n_h$  on keskimääräinen pyörimisnopeus,  $\theta$  on liikkeen laajuus asteina ja  $C$  on heilahdustaajuus (sykliä/min). (Airila ym. 2010, 465.)



## 5 JOHN DEERE 1270G RASVAUSJÄRJESTELMÄ

John Deere 1270G harvesterissa käytetään Lincoln Industrialin valmistamaa automaattirasvausjärjestelmää. Voitelujärjestelmän piiriin kuuluvat ajokoneen laakerit, hytin vakautuksen nivelpisteet sekä puomin nivelet. Harvesterin rungosta löytyvät runko-ohjauksen nivelpisteet ja voimansiirron laakerit. Harvesterissa on myös pyörivä ja vakaava ohjaamo, joka on nivelöity useasta kohtaa. Hytin on tarkoitus seurata harvesterin puomin liikkeitä ja pitää ohjaamo tasapainossa epätasaisessa maastossa. Harvesterissa oleva CH7-harvesteripuomin avulla kaadetaan ja liikutetaan puita suurella nopeudella, joka aiheuttaa suuria voimia puomin nivelille. Järjestelmä koostuu yhdestä keskuspumpusta sekä useista jakajista, jotka annostelevat voitelukohteille ennalta määritetyn voiteluainemäärän. Sähköinen pumppu toimii ajastuksella, tehden yhden työkierron kahden tunnin välein.

Järjestelmässä tärkeänä osana ovat jakajat, jotka annostelevat voiteluaineen eri laakereille. Lincolnin järjestelmässä olevat SSV- ja SSVD-jakajat ovat mäntätoimisia annostelijoita, jossa on useita lähtöjä eri voitelukohteisiin. Tämän tyyppisessä jakajassa toiminta perustuu voiteluaineen hydraulipaineeseen. Kuvassa 4 jakajaan syötetty voiteluaine aiheuttaa jakajan mäntään A paineen, joka liikuttaa mäntää ääriasennosta toiseen ja samalla ohjaa voiteluainetta eteenpäin portista 2. Kun mäntä A on liikkunut ääriasentoonsa, avautuu reitti männälle B joka työntää liikkeessaan voiteluainetta portista 7 (Hudson Industry 2017). Tällä periaatteella mäntien liikkeessä järjestyksessä edestakaisin kaikista porteista annostellaan voiteluainetta eri kohteille. Järjestelmän keskuspumpun tuottama voiteluainemäärä määrittää kuinka monta kierrosta jakajan männät läpikäyvät ja kuinka paljon voiteluainetta päätyy voitelukohteelle yhden syklin aikana.



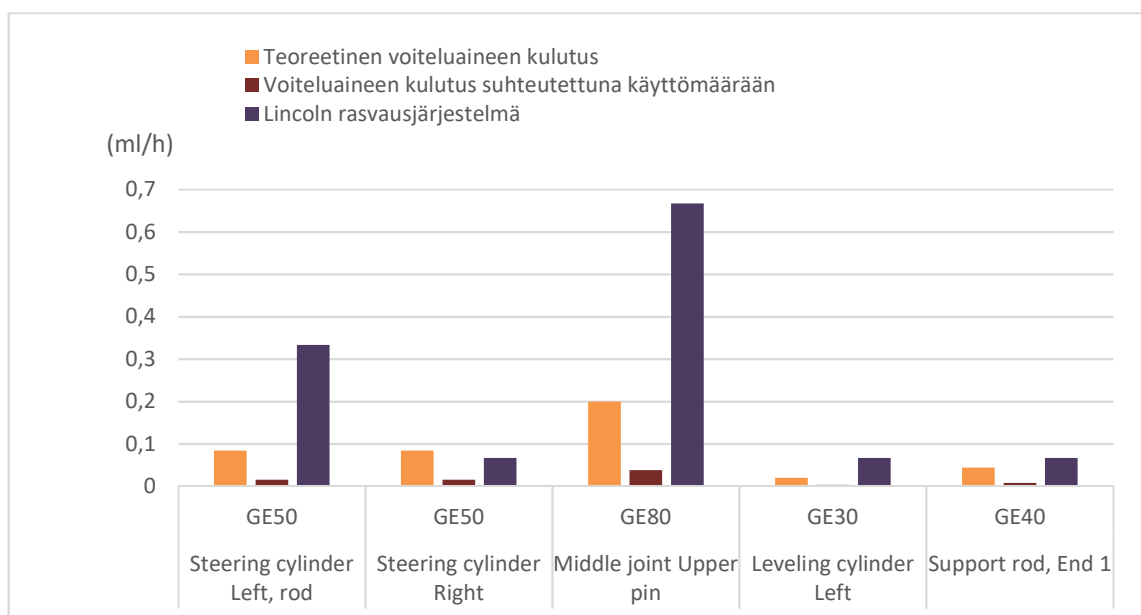
KUVA 4. SSV-jakajan toimintaperiaate (Hudson Industry 2017.)

Automaattirasvausjärjestelmän pääkomponentit ja niiden syöttämät voiteluainemäärät jokaiselle voitelukohteelle yhden syklin eli kahden tunnin aikana on havainnollistettu liitteessä 1. Pumpussa on kaksi lähtöä, yksi puomille ja toinen muulle koneelle. Voiteluaine kulkeutuu jakajiin, joista se kulkeutuu edelleen voitelukohteisiin.

## 6 TULOKSET

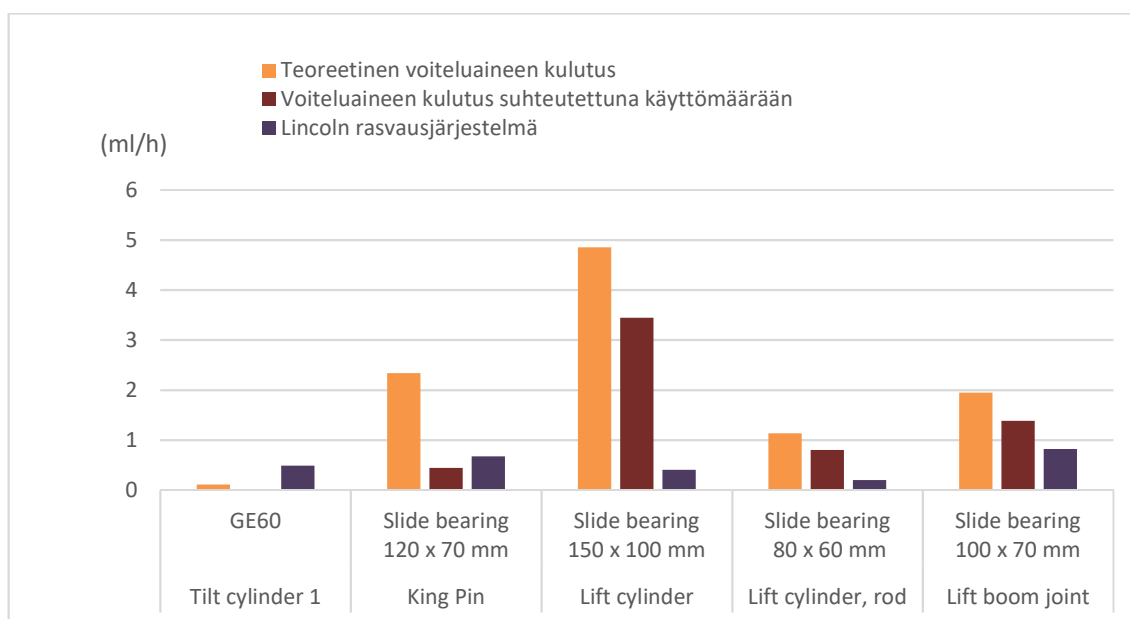
Teoreettisten laskelmien avulla saatiin aikaan tulokset laakereiden voiteluainetarpeelle. Ratkaisut voitelumääriin saatiin käyttämällä kaavoja 1 ja 2 vierintälaakereille ja kaavoja 3 ja 4 liukulaakereille. Esitietona työssä on ollut eri nivelien käyttömäärät koneen koko käyttöajasta, jonka avulla voiteluainemääriä on pystytty suhteuttamaan yksittäisen nivelen todelliseen voiteluaineen tarpeeseen (liite 2). Kaikki tulokset on esitetty milligrammoina tunnissa ja myös automaattirasvausjärjestelmän tulokset on muutettu samaan yksikköön. Liitteessä 3 on esitetty kaikki tulokset ja kootusti vertailtu teoreettista voiteluaineen kulutusta sekä teoreettista kulutusta suhteutettuna käyttömäärään Lincoln automaattirasvausjärjestelmän syöttämiin voiteluainemääriin.

Kuviossa 1 on otettu esiin runko-ohjauksen sekä pyörivän ja vakaavan ohjaamon voitelukohteiden tuloksia. Laakereina käytetään GE-nivellaakereita sekä kardaniakselissa käytetään kuulalaakeria. Nivellaakereiden pieni sisäinen välys tarkoittaa, että laakerin voitelutarve on hyvin vähäinen. Lincoln rasvausjärjestelmään verrattuna voiteluainetta syötetään tarpeettoman paljon voitelukohteille. Sama toistuu kuulalaakerin tapauksessa, jonka voiteluaineen tarve on hyvin vähäinen vierintäelimien pienten välysten johdosta. Nivelten käyttömäärä koneen koko käyttöajasta on myös melko vähäistä, joka vaikuttaa lopulliseen voitelutarpeeseen.



KUVIO 1. Rungon ja hytin voitelukohteita

Kuviossa 2 on esitetty harvesterin puomin voitelukohteiden tuloksia. 1270G harvesterin puomi sisältää lukuisia nivelpisteitä, jotka joutuvat suurelle kuormitukselle puomilla suoritettavan puunkaadon ja puunkäsittelyn johdosta. Laakerit ovat liukulaakereita, jotka soveltuvat hitaisiin liikkeisiin suurilla kuormilla. Laakerin ja akselin suuremman välyksen johdosta liukulaakerit tarvitsevat suuremman määrän voiteluainetta nivel- ja vierintälaakereihin verrattuna. Tuloksien perusteella suurin osa puomin laakereista ei saa tarpeeksi voitelua. Tuloksissa nähdään myös, että vaikka suhteutus käyttömäärään pienentää voiteluaineen tarvetta useimmiten se ei riitä tasaamaan rasvausjärjestelmän syöttämää määrää teoreettiseen voiteluainetarpeeseen.



KUVIO 2. Puomin voitelukohteita

Laskelmista saatuja tuloksia vertailtiin silmämääräisellä katselmuksella neljään eri harvesteriin. Voitelukohteiden rasvan käyttöä tutkittiin ulkoisesti koneissa, joita oli käytetty 81, 576, 658 ja 2533 tuntia. Näin tekemällä pystyttiin havainnoimaan mahdollisesti liiallisen voitelun vaikutuksia koneen käytössä. Silmämääräisellä katselmuksella voitiin havaita ylimääräisen voiteluaineen lisääntyminen koneen käyttöiän edetessä. Tämä oli selvää etenkin rungon ja hytin tapauksessa, samoissa kohteissa joissa laskelmien mukaan syötettävän voiteluaineen määrä on liian suuri.

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteina oli tutkia laakereiden kulumisprosesseja, niiden voitelua sekä määrittää rasvavoidelluille laakereille teoreettinen voiteluaineen kulutus. Laakereiden kulumisprosesseista liukulaakereihin vaikuttaa ensisijaisesti mekaaninen työstö joko toisen pinnan tai erillisen partikkelin vaikutuksesta. Vierintälaakereilla ongelmat keskittyvät pinnan väsymiseen pienen kosketuspinta-alan ja suuren paineen vaikutuksesta. Laakereiden kulumista seuraamalla voidaan päätellä sen johtuvan materiaalivalinnoista, voitelun puutteesta, lämmöstä tai ulkoisesta liasta. Riittävän voiteluainekalvon muodostuksen lisäksi kulumisen kannalta tärkeitä ovat myös muut voiteluaineen tehtävät.

Laakereiden voitelussa parhain hyöty saadaan aina, kun liukupinnat pystytään erottamaan täysin toisistaan joko voiteluaineen ulkoisen paineistuksen kautta tai pintojen suhteellisen liikkeen avulla. Käytännössä työkoneen nivelien kanssa ilman erillistä paineistusta laakereiden voitelukalvoa ei voida pitää tasaisena tilanteissa, joissa esiintyy liikkeen pysähtymistä ja suunnanvaihtoa. Liukulaakereiden tapauksessa voitelualue sijoittuu raja-voitelun alueelle, jossa kulumista tapahtuu väistämättä. Kulumisen tulee olla kuitenkin ennustettavaa ja normaalissa voitelutilanteessa laakerin tulisi kestää sen normaali elinikä.

Opinnäytetyön suurimpana tavoitteena oli määrittää rasvavoidelluille laakereille sopiva voiteluaineen kulutus. Tuloksena saatiin yleiskuva eri laakerityyppien voitelun tarpeesta ja työkalut voitelujärjestelmän kehittämiseen jatkossa. Tuloksiin ollaan tyytyväisiä, ja ne korreloivat myös käytännön kokemuksia. Rasvalla voidelluille laakereille ei ole olemassa yhtä kattavaa voiteluaineen kulutuksen määrittelyä kuin öljyvoidelluille laakereille. Laskennassa kaikki riippuu laakerin mitoista ja melko karkeista kertoimista, eikä esimerkiksi voiteluaineen ominaisuuksia käsitellä mitenkään. Työssä suurimpana haasteena olikin tiedon hankkiminen rasvalla voideltaville laakereille.

Harvesterissa nykyisin käytettävän Lincoln automaattirasvausjärjestelmän rakenteen johdosta tarkkojen voiteluainemäärien säätäminen on mahdotonta. Järjestelmässä olevien jakajien rakenteen vuoksi ne syöttävät vakiomäärän voiteluainetta usealle erilaisella kohteelle. Tilanne, jossa jokaiselle laakerille pystytään räätälöimään tarkka määrä voiteluainetta saa odottaa uuden järjestelmän käyttöönottoa. Tuloksia pystytään edelleen verta-

maan korjaustilastoihin, joista pystytään toteamaan mahdolliset yhteneväisyydet liian vähäisen voiteluaineen syötön ja nivelien kulumisen suhteen. Koneiden laakereiden kulumista voidaan seurata niiden käyttöiän edetessä, jolloin saadaan kuva voiteluaineen kulumisen pitkäaikaisvaikutuksista.

## LÄHTEET

Airila, M. Ekman, K. Hautala, P. Kivioja, S. Kleimola, M. Martikka, H. Miettinen, J. Niemi, E. Ranta, A. Rinkinen, J. Salonen, P. Verho, A. Vilenius, M. Välimaa, V. 2010. Koneenosien suunnittelu. 4.-5. painos. Helsinki: WSOYpro Oy

Hudson Industry. 2017. Progressive Divider Valve SSV8 – Single Line Lubricant Distributor, Distribution Valve. Luettu 21.11.2017. <http://www.lubrication-equipment.com/progressive-valve-ssv8/>

Johnson, M. 2009. Lubricant application: Grease volumes and frequencies. Tribology & Lubrication Technology. 4/2009, 20-26

Kivioja, S. Kivivuori, S. Salonen, P. 2007. Tribologia – Kitka, Kuluminen ja Voitelu. 5. painos. Helsinki: Hakapaino Oy

Kunnossapitoyhdistys ry. 2006. Teollisuusvoitelu. 4. painos. Helsinki: KP-Media Oy

Lingaiah, K. 2001. Machine Design Databook. 2. painos. New York: McGraw-Hill

Norton, R. 2011. Machine Design: an integrated approach. 4. painos. Upper Saddle River: Prentice Hall

NTN Corporation. 2009. Ball and Roller Bearings. Tulostettu 19.5.2017. [http://www.ntnamerica.com/en/website/documents/brochures-and-literature/catalogs/ntn\\_2202-ixe.pdf](http://www.ntnamerica.com/en/website/documents/brochures-and-literature/catalogs/ntn_2202-ixe.pdf)

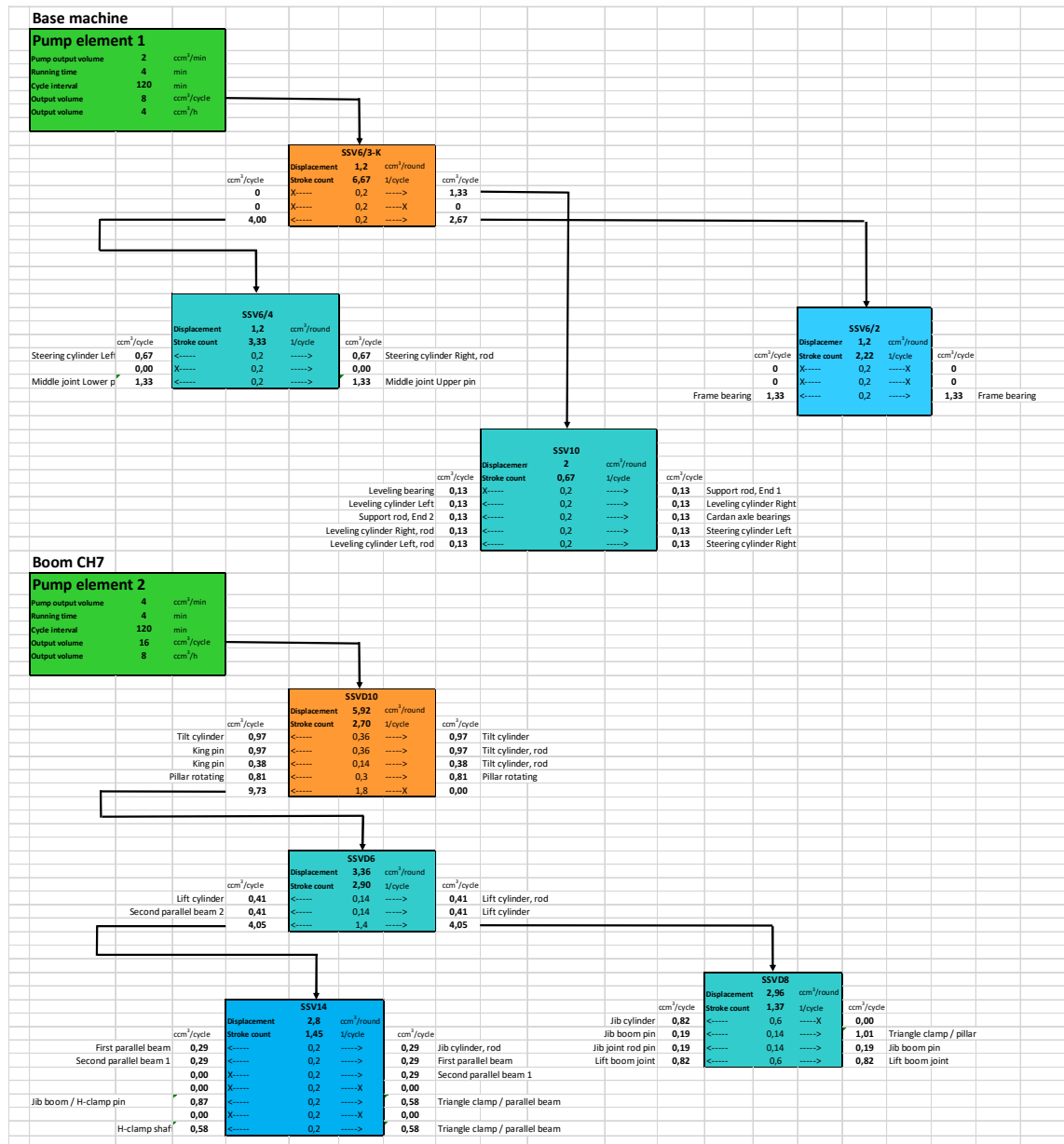
Schaeffler. 2017. Vierintä- ja liukulaakerit. Tulostettu 19.5.2017. [http://www.schaeffler.fi/content.schaeffler.fi/fi/products\\_services/rotativ\\_products/index.jsp?addedItem=PubLanguage\(386195\)](http://www.schaeffler.fi/content.schaeffler.fi/fi/products_services/rotativ_products/index.jsp?addedItem=PubLanguage(386195))

Stachowiak, G. Bachelor, A. 2005. Engineering Tribology. 3. painos. Oxford: Butterworth-Heinemann

Williams, J. 2005. Engineering Tribology. New York: Cambridge University Press

# LIITTEET

## Liite 1. Lincoln automaattirasvausjärjestelmä





## Liite 2. Laakereiden käyttö määrä ja liikkeen laajuus

			<b>Liikkeen laajuus</b>
<b>Base machine</b>	<b>Laakeri</b>	<b>Käyttömäärä</b>	<b>(deg)</b>
Steering cylinder Left	GE50	19 %	54
Steering cylinder Left, rod	GE50	19 %	54
Steering cylinder Right	GE50	19 %	54
Steering cylinder Right, rod	GE50	19 %	54
Middle joint Upper pin	GE80	19 %	72
Middle joint Lower pin	GE80	19 %	72
Cardan axle bearings	YAR 211-2F	19 %	360
<b>Rotating&amp; Leveling -unit</b>			
Leveling cylinder Left	GE30	19 %	72
Leveling cylinder Left, rod	GE30	19 %	72
Leveling cylinder Right	GE30	19 %	72
Leveling cylinder Right, rod	GE30	19 %	72
Support rod, End 1	GE40	19 %	18
Support rod, End 2	GE40	19 %	18
Leveling bearing	GE50	19 %	180
<b>Boom CH7</b>			
	Slide bearing 315 x 140 mm	71 %	234
Pillar rotating			
Tilt cylinder 1	GE60	19 %	10,8
Tilt cylinder 1, rod	GE60	19 %	10,8
Tilt cylinder 2	GE60	19 %	10,8
Tilt cylinder 2, rod	GE60	19 %	10,8
King Pin	Slide bearing 120 x 70 mm	19 %	90
Lift cylinder	Slide bearing 150 x 100 mm	71 %	72
Lift cylinder, rod	Slide bearing 80 x 60 mm	71 %	18
Lift boom joint	Slide bearing 100 x 70 mm	71 %	108
Triangle clamp / pillar	Slide bearing 100 x 70 mm	71 %	108
Triangle clamp / parallel beam	Slide bearing 70 x 80 mm	71 %	108
First parallel beams	Slide bearing 100 x 40 mm	71 %	108
Second parallel beam	Slide bearing 100 x 60 mm	71 %	108
Second parallel beam	Slide bearing 70 x 40 mm	71 %	108
Jib cylinder	Slide bearing 70x60 mm	71 %	10,8
Jib cylinder, rod	Slide bearing 70x80 mm	71 %	36
Jib joint rod pin	Slide bearing 70 x 60 mm - 2 pcs	71 %	36
H -clamp shaft	Slide bearing 70 x 60 mm - 2 pcs	71 %	10,8
Jib boom pin	Slide bearing 100 x 60 mm - 2 pcs	71 %	108
Jib boom / H-clamp pin	Slide bearing 70 x 40 mm - 2pcs	71 %	36

## Liite 3. Voiteluaineen kulutus laakerityypeittäin

Base machine	Laakeri	Teoreettinen voiteluaineen kulutus	Voiteluaineen kulutus suhteutettuna käyttömäärään	Lincoln rasvausjärjestelmä
Steering cylinder Left	GE50	0,084	0,016	0,067
Steering cylinder Left, rod	GE50	0,084	0,016	0,333
Steering cylinder Right	GE50	0,084	0,016	0,067
Steering cylinder Right, rod	GE50	0,084	0,016	0,333
Middle joint Upper pin	GE80	0,2	0,038	0,667
Middle joint Lower pin	GE80	0,2	0,038	0,667
Cardan axle bearings	YAR 211-2F	0,0021	0,0005	0,067
<b>Rotating&amp;Leveling -unit</b>				
Leveling cylinder Left	GE30	0,02	0,004	0,067
Leveling cylinder Left, rod	GE30	0,02	0,004	0,067
Leveling cylinder Right	GE30	0,02	0,004	0,067
Leveling cylinder Right, rod	GE30	0,02	0,004	0,067
Support rod, End 1	GE40	0,044	0,008	0,067
Support rod, End 2	GE40	0,044	0,008	0,067
Leveling bearing	GE50	0,084	0,016	0,067
<b>Boom CH7</b>				
Pillar rotating	Slide bearing 315 x 140 mm	18,496	13,132	0,811
Tilt cylinder 1	GE60	0,108	0,021	0,486
Tilt cylinder 1, rod	GE60	0,108	0,021	0,486
Tilt cylinder 2	GE60	0,108	0,021	0,486
Tilt cylinder 2, rod	GE60	0,108	0,021	0,189
King Pin	Slide bearing 120 x 70 mm	2,81	0,534	0,676
Lift cylinder	Slide bearing 150 x 100 mm	5,867	4,166	0,405
Lift cylinder, rod	Slide bearing 80 x 60 mm	1,357	0,963	0,203
Lift boom joint	Slide bearing 100 x 70 mm	2,375	1,686	0,822
Triangle clamp / pillar	Slide bearing 100 x 70 mm	2,375	1,686	0,507
Triangle clamp / parallel beam	Slide bearing 70 x 80 mm	1,583	1,124	0,579
First parallel beams	Slide bearing 100 x 40 mm	1,357	0,963	0,290
Second parallel beam	Slide bearing 100 x 60 mm	2,036	1,446	0,290
Second parallel beam	Slide bearing 70 x 40 mm	0,792	0,562	0,203
Jib cylinder	Slide bearing 70x60 mm	1,188	0,843	0,411
Jib cylinder, rod	Slide bearing 70x80 mm	1,583	1,124	0,145
Jib joint rod pin	Slide bearing 70 x 60 mm - 2 pcs	2,376	1,687	0,096
H -clamp shaft	Slide bearing 70 x 60 mm - 2 pcs	2,376	1,687	0,290
Jib boom pin	Slide bearing 100 x 60 mm - 2 pcs	4,072	2,891	0,096
Jib boom / H-clamp pin	Slide bearing 70 x 40 mm - 2pcs	1,584	1,125	0,434